AUSWERTUNG: LICHTGESCHWINDIGKEITSMESSUNG

TOBIAS FREY, FREYA GNAM, GRUPPE 26, DONNERSTAG

1. FOUCAULT-MICHELSONSCHE DREHSPIEGELMETHODE

Justierung der Apperatur und Messung. Die Apparatur ist bereits von einer anderen Gruppe aufgebaut worden. Bei stillstehendem Drehspiegel lesen wir unseren Referenzpunkt (Nulllage) auf der Skala des Beobachtungsschirms ab.

Die Drehfrequenz des Motors des Drehspiegels stellen wir auf die Frequenz $\nu = 440Hz$ ein. Die Frequenzanzeige des Drehspiegels überprüfen wir mithilfe einer Stimmgabel. Da der Drehspiegel beidseitig beschichtet ist, halbiert man den angezeigten Frequenzwert um die tatsächliche Drehfrequenz zu erhalten.

Wir führen zwei Messreihen durch, bei denen wir die Verschiebung Δs des Lichtmarkenortes in Abhängigkeit von der Rotationsfrequenz des Drehspiegels registrieren. Über eine durch lineare Regression gewonnene Ausgleichsgerade (siehe Abbildung 1) lässt sich die Lichtgeschwindigkeit c aus den Messwerten bestimmen. Wir tragen dazu die Verschiebung Δs über der Frequenz f auf. Mit der Steigung m der Ausgleichsgeraden berechnen wir die Lichtgeschwindigkeit zu:

$$c = \frac{8\pi(d_2 + d_3)d_1}{m} = 285225825,3\frac{m}{s^2}$$

Die Abweichung vom Literaturwert $c = 299792458\frac{m}{s}$ beträgt: $4,86\%$

In der Vorbereitung haben wir für die vorgegebenen Rotationsfrequenz $\nu = 440Hz$ den Erwartungswert für die Verschiebung $\Delta s = 3,3mm$ berechnet. Wir lesen bei dieser Frequenz die Verschiebung $\Delta s = 3,5mm$ ab. Diese Abweichung findet sich in unserem zu kleinen Wert für die Lichtgeschwindigkeit c wieder.

Statistische Fehlerquellen.

- Fehler beim Ablesen auf der Skala des Beobachtungsschirms
- Fehler beim Ablesen der Frequenz (schwankende Anzeige)

Die Fehler der verschiedenen Messgrößen sind voneinander unabhängig.

Systematische Fehlerquellen.

- Ungenauigkeiten bei der Abstandsbestimmung während des Aufbaus der Apparatur
- Breite des Lichtpunkts auf der Skala des Beobachtungsschirms
- Fehler bei der Frequenzeinstellung

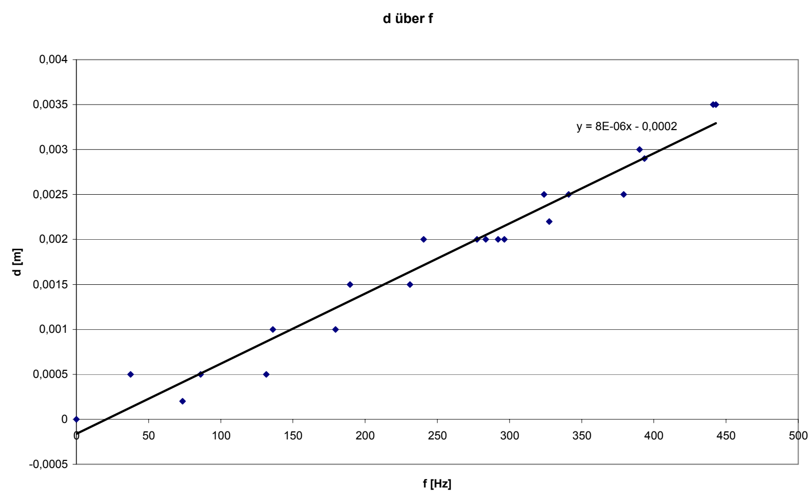

ABBILDUNG 1. Aufgabe 1 Ausgleichsgerade

2. PHASENVERGLEICHSMETHODE

Wir bestimmen $\omega = 59988,6kHz$ und $\omega - \Omega = 100,02kHz$. Mit den gemessenen Werten berechnet sich der Zeitdehnungsfaktor k, mit dem im Folgenden aus den gemessenen Zeitverschiebungen die realen Zeitverschiebungen berechnen lassen zu:

$$k = \frac{\omega}{\omega - \Omega} = 599,77$$

Lichtgeschwindigkeits- und Brechzahlmessungen. Wir führen eine Eichmessung durch, da wir davon ausgehen müssen, dass die Zeitablenkfrequenz des Oszilloskops nicht genau angegeben ist. Dazu bestimmen wir die vom Frequenzgenerator erzeugte Frequenz zuerst mithilfe des Frequenzzählers und stellen sie dann auf dem Oszilloskop dar.

Aus den Schwingungen pro Skalenteil und der zuvor am Frequenzzähler abgelesenen Frequenz berechnen wir, dass der Umrechnungsfaktor am Oszilloskop im Bereich $0,5\frac{\mu s}{cm}$ tatsächlich $0,528\frac{\mu s}{cm}$ betragen müsste. Im Bereich $1\frac{\mu s}{cm}$ erhalten wir tatsächlich $1,125\frac{\mu s}{cm}$.

Der von uns berechnete Umrechnungsfaktor ist allerdings mit einer recht hohen Messungenauigkeit behaftet, da die betrachtete Frequenz sehr hoch ist und dadurch das Ablesen der Schwingungen pro Skalenteil schwierig ist.

Die Phasenverschiebung lässt sich aus der Oszilloskopanzeige nur schlecht bestimmen, da je nach Einstellung die Kurve sehr flach ausfällt oder stark verschwimmt. Zusätzlich wid das Empfangssignal bei zunehmender Entfernung unschärfer und schwächer. Deswegen müssen wir bei unserer Messung von einer hohen Messungenauigkeit ausgehen. Die Ableseungenauigkeit bei der Phasenverschiebung stellt also eine systematische Fehlerquelle dar.

Eine statistische Fehlerquelle stellt hingegen die Ableseungenauigkeit bei der Positionsbestimmung des Senders dar. Diese sollte jedoch klein sein gegen die Ableseungenauigkeit bei der Phasenverschiebung.

An der definierten Nullposition nehmen wir einen Phasenabgleich vor und messen dann die Phasenverschieben bei verschiedenen Sender-Empfänger-Abständen. Der Phasenabgleich lässt sich über das kleine und unscharfe Oszilloskopbild nicht exakt durchführen. Hier liegt also eine Eichungenauigkeit vor.

Messung der Lichtgeschwindigkeit in Luft. Über die Messung der Phasenverschiebung in Abhängigkeit von der eingestellten Weglänge lässt sich die Lichtgeschwindigkeit in Luft bestimmen:

$$c = \frac{\omega}{\omega - \Omega} \frac{d}{\Delta t'}$$

bestimmen Wir erhalten aus der Steigung bei der Auftragung von Δd über Δt (siehe Abbildung 2) unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors als Wert für die Lichtgeschwindigkeit $c = 2,27680 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$. Die große Abweichung von 24% vom Literaturwert erklärt sich aus den oben diskutieren Fehlerquellen.

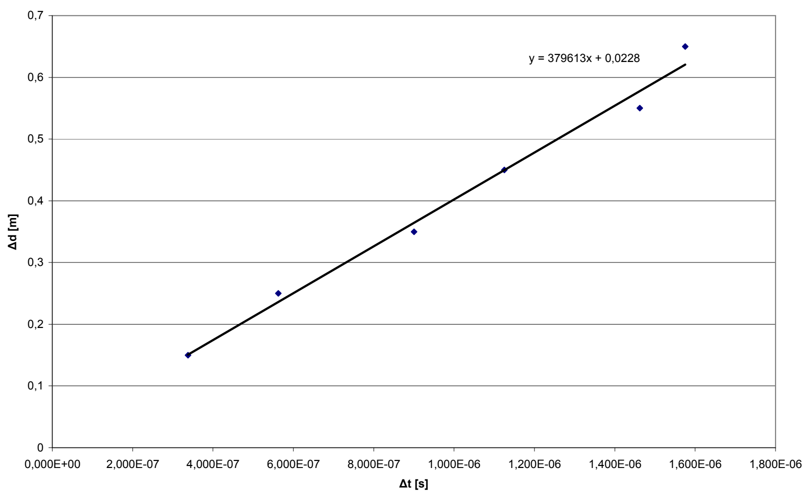

ABBILDUNG 2. Aufgabe 2.1 Δd über Δt

Messung der Brechzahl in Wasser. Wir bestimmen aus der Messung der Laufzeitdifferenz die Brechzahl von Wasser mithilfe einer Wasserröhre der Länge $x = 1m$:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{d-x}{c} + \frac{x}{c'} \\ \Rightarrow c' &= \frac{x}{\Delta t - \frac{d-x}{c}} \\ \Rightarrow n &= \frac{c}{c'} \\ &= \frac{\frac{\omega-\Omega}{\omega}\Delta t' c - d}{x} + 1 \end{aligned}$$

Der Literaturwert beträgt $n = 1,33$. Als Mittelwert aus unseren Messungen erhalten wir n=1,43. Dies entspricht einer Abweichung von $7,7\%$ vom Literaturwert.

Messung der Brechzahl in Plexiglas. Genauso bestimmen wir aus der Messung der Laufzeitdifferenz die Brechzahl von Plexiglas. Der Literaturwert beträgt $n = 1,49$.

Mit einem Plexiglasrohr der Länge $x = 30cm$ ergibt sich als Mittelwert aus unseren Messungen n=1,65. Dies entspricht einer Abweichung von $10,7\%$ vom Literaturwert. Mit einem Plexiglasrohr der Länge $x = 8cm$ ergibt sich als Mittelwert aus unseren Messungen n=1,59. Dies entspricht einer Abweichung von $6,9\%$ vom Literaturwert.

Zwar ist beim längeren Rohr die Laufzeitdifferenz größer, was die Genauigkeit der Messung erhöht, andererseits wird aber auch das Signal stärker abgeschwächt, was bei unserer Messung problematisch ist, da wir ohnehin mit einem schlechten Signal zu kämpfen haben.

Messung mithilfe von Lissajous-Figuren. Wir schalten nun das Oszilloskop auf X-Y-Darstellung um und schließen zwei Signale gleicher Frequenz an. Für die verschiedenen Phasenverschiebungen ergeben sich charakteristische Figuren (Gerade, Ellipse). Die Phasenverschiebung lässt sich nun bestimmen, indem man misst, in welchen Abständen d sich eine Gerade ergibt. Wir berechnen aus $c = \lambda f = 2fd$, dass der Abstand $d = 2,5m$ betragen müsste. Die Schiene, auf der wir unseren Sender bewegen, ist jedoch kürzer als $2,5m$. Es lässt sich außer in der Nullposition kein zweites Mal eine Gerade darstellen. Experimentell können wir den berechneten Wert also nicht überprüfen. Es lässt sich jedoch erkennen, dass der Wert von $d = 2,5$, in ungefähr stimmen muss, da sich die dargestellte Ellipse einer Gerade nähert, wenn man den Empfänger an das Ende der Schiene bewegt.

Ersetzt man wieder eine Weglänge x durch ein Medium mit $n \neq 1$, so kann eine Brechzahlmessung vorgenommen werden. Die Messung ist recht ungenau, da das Signal sehr undeutlich ist und dadurch das Intervall, in dem kaum eine Veränderung zu beobachten ist, sehr groß ist.

Messung der Brechzahl in Wasser ($x = 1m$):

$$n = 1 + \frac{2,50m - 2,28m}{1m} = 1,22$$

Abweichung vom Literaturwert: $9,0\%$

Messung der Brechzahl in Plexiglas ($x = 30cm$):

$$n = 1 + \frac{2,5m - 2,375m}{0,3m} = 1,42$$